

PENGARUH TOREFAKSI TERHADAP SIFAT KIMIA PELET TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

EFFECT OF TOREFACTION ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF EMPTY FRUIT BUNCH PELLETS

Irma Thya Rani¹, Wahyu Hidayat^{1,✉}, Indra Gumay Febryano¹, Dewi Agustina Iryani²,
Agus Haryanto¹, Udin Hasanudin¹

¹Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

²Fakultas Teknik, Universitas Lampung

✉Komunikasi Penulis, email: wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id

DOI:<http://dx.doi.org/10.23960/jtep-lv9i1.63-70>

Naskah ini diterima pada 25 Maret 2020; revisi pada 30 Maret 2020;
disetujui untuk dipublikasikan pada 30 Maret 2020

ABSTRACT

Palm oil solid waste that is relatively easy to find is empty fruit bunches (EFB). EFB biomass is converted into pellets to get a uniform size, then heated through torrefaction into bioenergy so that its utilization is more optimal and can increase economic value. Torrefaction was carried out using an electric furnace with a target temperature of 280°C and a duration of 20 minutes. The purpose of this paper is to determine the effect of torrefaction on the chemical properties of EFB pellets. The results of this study are hemicellulose and cellulose decreased by 0.58% - 0.77%, this happens because hemicellulose and cellulose are degraded with increasing temperature and time of torrefaction. This is confirmed by changes in the line spectrum for FT-IR analysis where C-O, C=C, C-H, and O-H experience changes in the line spectrum that indicate changes in chemical composition. Lignin increased after torrefaction by 2.71%. Water content in EFB pellets decreased by 0.65%, while EFB pellets without treatment (control) by 14.95% after torrefaction became 22.70%. The volatile content of EFB control pellets was 69.55% after torrefaction to 61,21% so that the fixed carbon content of EFB control pellets was 10.03% and EFB pellets after torrefaction became 14.23%. The heat value of EFB pellets before torrefaction is 15.82 MJ/kg, and after torrefaction, the heating value increases to 18.28 MJ/kg so that it reaches the standard requirements of SNI 8675: 2018 as biomass pellets. Torrefaction pellets from EFB can provide a large increase in the quality of the bioenergy chemical properties. Biomass torrefaction is very suitable for combustion in power plants and home industries.

Keywords: chemical composition, FTIR, oil palm empty fruit bunches, torrefaction

ABSTRAK

Limbah padat perkebunan sawit yang relatif mudah dijumpai ialah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Biomassa TKKS dikonversikan menjadi pelet untuk mendapatkan ukuran yang seragam, kemudian ditorefaksi untuk digunakan sebagai bioenergi sehingga pemanfaatannya lebih optimal dan dapat meningkatkan nilai ekonomi. Torefaksi dilakukan menggunakan *electric furnace* dengan target suhu 280°C dan durasi selama 20 menit. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh torefaksi terhadap sifat kimia pelet TKKS. Hasil dari penelitian ini ialah kadar hemiselulosa dan selulosa menurun sebesar 0,58% - 0,77% hal tersebut terjadi karena hemiselulosa dan selulosa terdegradasi seiring dengan peningkatan suhu dan waktu torefaksi. Hal tersebut diperkuat dengan perubahan gugus fungsi terhadap analisis FT-IR dimana gugus C-O, C=C, C-H, dan O-H mengalami perubahan spektrum garis pita yang menandakan adanya perubahan komposisi kimia. Sedangkan kadar lignin meningkat setelah torefaksi sebesar 2,71%. Kadar air pada pelet TKKS menurun sebesar 0,65 %, sedangkan abu pelet TKKS tanpa perlakuan (kontrol) sebesar 14,95% setelah tertorefaksi menjadi 22,70%. Zat terbang pelet TKKS kontrol sebesar 69,55% setelah tertorefaksi menjadi 61,21% sehingga diperoleh nilai karbon terikat pelet TKKS kontrol sebesar 10,03% dan pelet TKKS yang tertorefaksi sebesar 14,23%. Nilai kalor pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 15,82 MJ/kg, dan setelah torefaksi nilai kalor meningkat menjadi 18,28 MJ/kg sehingga memenuhi SNI 8675:2018 pelet biomassa. Pelet TKKS yang tertorefaksi dapat memberikan peningkatan besar dalam kualitas sifat kimia bioenergi.

Kata Kunci: FTIR, komposisi kimia, tandan kosong kelapa sawit, torefaksi

I. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi dari 3 sumber energi utama meliputi minyak bumi, batu bara dan gas alam mencapai 5,6%. Total konsumsi energi tahun 2018 terdiri dari yang sektor transportasi 40%, industri 36%, rumah tangga 16%, dan sektor lainnya 6-8% (BPPT 2019). Sehingga perlu dicari sumber energi lain yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan salah satunya biomassa. Biomassa merupakan material organik yang dihasilkan dari proses fotosintesis (Syamsiro, 2016). Kelapa sawit merupakan salah satu biomassa hasil pertanian yang diperdagangkan untuk industri dalam negeri maupun luar negeri. Biomassa yang relatif mudah dijumpai ialah limbah padat perkebunan sawit salah satunya tandan kosong kelapa sawit (TKKS) (Wardani dan Widiawati, 2017).

Biomassa masih memiliki kerapatan rendah, ukuran yang tidak seragam, kemudahan menyerap air (higroskopis) serta sulit dalam penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Oleh karena itu diperlukan cara untuk mengatasinya dengan densifikasi. Densifikasi adalah teknik konversi biomassa menjadi bahan bakar salah satunya pelet, dengan tujuan meningkatkan densiti sehingga memudahkan dalam penanganan, penyimpanan dan transportasi karena memiliki ukuran yang seragam (Wibowo *et al.*, 2017). Pelet adalah biomassa yang diperkecil ukurannya, kemudian dipadatkan sehingga berbentuk silindris yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Kelemahan pelet ialah kepadatan energi yang rendah, nilai kalor yang rendah dan kadar air yang tinggi. Sehingga diperlukan metode thermal untuk meningkatkan kualitas pelet biomassa, salah satu metode thermal yang digunakan pada penelitian ini ialah torefaksi.

Torefaksi adalah pemanasan biomassa secara perlahan dengan kisaran suhu 200 – 300°C yang dilakukan dengan kondisi sedikit atau tanpa oksigen (Syamsiro, 2016). Pelet biomassa yang telah ditorefaksi akan menghasilkan *black pellet*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh torefaksi terhadap perubahan sifat kimia dan peningkatan nilai kalor pelet TKKS.

II. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai Desember 2019. Persiapan bahan dan proses torefaksi dilakukan di lokasi Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Jurusan Kehutanan dan Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian. Analisis proksimat dan nilai kalor dilakukan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian Fakultas Pertanian, dan Laboratorium Biofuel Teknik Kimia Fakultas Teknik. Analisis FT-IR dilakukan di Laboratorium Inovasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sarung tangan, saringan (*strainer*), *furnace*, *stopwatch*, kaliper digital, timbangan digital, oven (*electric furnace*), cawan porselin, alat tulis, *tallysheet*, kamera dan laptop. Bahan yang digunakan ialah *aluminium foil*, pelet TKKS yang diperoleh dari PT. Toba Hijau Sinergi di Provinsi Medan, Sumatera Utara, pengolahan data menggunakan *Microsoft Word 2010* dan *Microsoft Excel 2010*.

2.1. Persiapan Bahan dan Perlakuan Pendahuluan

2.1.1. Penyaringan

Pelet tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang telah disiapkan lalu dilakukan tahap pertama yaitu penyaringan menggunakan saringan (*strainer*) dengan tujuan memisahkan pelet TKKS dengan debu dan serbuk sisa pelet.

2.1.2. Penyortiran

Pelet TKKS dipilih melalui tahap sortasi. Pelet TKKS dipisahkan menurut ukuran sampel sebesar 1-2 cm. Lalu dilakukan tahap pengukuran dengan cara menimbang berat masing-masing pelet pada kondisi kering udara dan kering tanur. Sampel pelet TKKS kemudian disimpan dengan menggunakan kontainer plastik untuk menjaga pelet dari kelembaban udara.

2.2. Torefaksi

Torefaksi menggunakan *electric furnace* dilakukan dengan menentukan target suhu torefaksi sebesar 280°C dan waktu tinggal

(*residence time*) selama 20 menit. Pelet TKKS yang telah disiapkan kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan digital sebesar 5 gram, kemudian pelet TKKS dibungkus dengan *aluminium foil* dan beri lubang di setiap bagian sisinya. Setelah target suhu torefaksi tercapai, lalu masukan sampel pelet TKKS ke dalam *electric furnace* (oven) dan lakukan pengamatan pada suhu dan waktu yang ditentukan. Setelah tercapai waktu 20 menit keluarkan sampel dan dikondisikan dalam kondisi ruangan pada suhu 25-30°C dengan kelembaban relatif (RH) 70-80%.

2.3. Pengujian dan Analisis Sifat Kimia *Black Pellet* TKKS

2.3.1. Analisis Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan dengan mengacu pada metode Chesson (Datta, 1981). Sampel dikering tanurkan dengan suhu 105°C sampai bobot konstan. Diambil 1 g sampel kering dan ditambahkan 150 ml aquades, lalu dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Saring dan dioven pada suhu 105°C, kemudian ditimbang sehingga diperoleh residu pertama (R1). Selanjutnya dididihkan kembali residu pertama menggunakan 150 ml H₂SO₄ 1N selama 1 jam disertai dengan pendingin balik lalu disaring. Residu dicuci dengan 300 ml aquades dan di oven pada suhu 105°C lalu ditimbang sehingga didapatkan residu kedua (R2). Residu kedua ditambahkan dengan 10 ml H₂SO₄ 72% dan didiamkan selama 4 jam pada suhu kamar. Setelah itu, residu ditambahkan dengan H₂SO₄ 1 N sebanyak 150 ml dan dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring lalu dicuci dengan 300 ml aquades dan di oven pada suhu 105°C sehingga didapatkan residu ketiga (R3). Residu keempat (R4) diperoleh dengan pengabuan residu pada suhu 550°C selama 2 jam dan ditimbang.

$$\text{Hemiselulosa} = \frac{R1 - R2}{\text{Sampel}} * 100\% \quad (1)$$

$$\text{Selulosa} = \frac{R2 - R3}{\text{Sampel}} * 100\% \quad (2)$$

$$\text{Lignin} = \frac{R3 - R4}{\text{Sampel}} * 100\% \quad (3)$$

2.3.2. Analisis Perubahan Gugus Fungsi

Analisa perubahan gugus fungsi untuk menentukan kualitas suatu biomassa menggunakan Spectroscopy *Fourier Transform Infrared* (FTIR) tipe varian 2000 FTIR scimeter series dengan metode KBr. Sampel digerus dalam mortar kecil bersama padatan KBr. Setelah selesai digerus, masukan sampel kedalam cetakan berbentuk cincin dengan rata. Lalu dikompresikan dengan alat penekan hidrolik dan keluarkan sampel dari cetakan. Letakan sampel kedalam spectrofotometer IR untuk kemudian dianalisis dimana semua spectrum dicatat pada suhu kamar.

2.3.3. Nilai Kalor

Nilai kalor diukur dengan menggunakan alat *bomb calorimeter* (PARR 1341) yang mengacu pada ASTM - D 2015 dengan satuan MJ/kg. Sampel TKKS disiapkan sebanyak ±5 g ke dalam cawan porselin, kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Cawan porselin berisi sampel setelah dipanaskan kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang hingga bobot konstan. Sampel yang telah didinginkan ditentukan nilai kalor dengan instrumen *bomb calorimeter*.

2.3.4. Analisis Proksimat

1. Kadar Abu

Pengujian kadar abu mengacu pada standar SNI 8675:2018. Sampel pelet TKKS sebanyak ±2 g di dalam cawan porselin diabukan dalam tanur listrik pada suhu 550°C selama 2 jam. Sampel abu didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar abu dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kadar Abu} = \frac{\text{Berat Abu}(g)}{\text{Berat Kering Sampel}(g)} * 100\% \quad (4)$$

2. Kadar Zat Terbang

Kadar zat terbang diuji berdasarkan standar SNI 8675:2018. Sebanyak ±2 g pelet TKKS ditimbang dalam cawan porselin beserta tutup. Cawan berisi sampel serbuk dimasukkan ke dalam tanur listrik dan dipirolisis pada suhu 950 °C selama 7 menit. Sampel didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar zat terbang (KZT) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{KZT}(\%) = \frac{\text{Kehilangan Berat Sampel}(g)}{\text{Berat Kering Sampel Awd}(g)} * 100\% \quad (5)$$

3. Kadar Karbon Terikat (*fixed carbon*)

Karbon terikat (*FC*) merupakan kandungan karbon dalam sampel setelah penghilangan kadar air, zat terbang dan abu. Analisis ini mengacu pada SNI 8675:2018 yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$FC = 100\% - (KadarAir - KZT - KadarAbu) \quad (6)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Komposisi Kimia pada Pelet TKKS

Kandungan hemiselulosa pada pelet kontrol sebesar 26%, setelah dilakukan torefaksi menggunakan oven (*electric furnace*) hemiselulosa mengalami penurunan menjadi 15%. Hal ini juga terjadi terhadap selulosa pada pelet TKKS dimana pelet kontrol memiliki kandungan selulosa sebesar 35% dan terdegradasi setelah melalui proses torefaksi menggunakan oven (*electric furnace*) menjadi 27% nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Kandungan hemiselulosa dan selulosa pada pelet biomassa dapat terdegradasi seiring dengan peningkatan suhu yang diberikan. Kandungan kimia lignin pada pelet TKKS kontrol sebesar 17% mengalami peningkatan menjadi 46% setelah melalui proses torefaksi. Komposisi kimia pada pelet TKKS dapat dilihat pada Tabel 1.

Penurunan kandungan hemiselulosa seiring dengan kenaikan temperatur dan lama waktu torefaksi (Irawan *et al.*, 2015). Salah satu faktor yang mempengaruhi hemiselulosa dan selulosa ialah suhu, pada suhu yang tinggi akan menyebabkan hemiselulosa dan selulosa yang didapat menurun (Dewanti *et al.*, 2018). Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Rubiyanti *et al.* (2019) selulosa dan hemiselulosa dapat terdegradasi pada suhu tinggi dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah, sehingga kehilangan berat massa biomassa lebih tinggi. Kehilangan kandungan tersebut menyebabkan berat biomassa menurun dan sifat hidrofobik

pada biomassa semakin tinggi. Lignin yang terdapat diantara sel-sel di dalam dinding sel berfungsi sebagai perekat antar sel. Lignin dapat mempertinggi sifat racun yang membuat kayu tahan bakteri-bakteri perusak dan serangga serta beberapa kelompok mikroorganisme seperti jamur (Setiawan *et al.*, 2012). Proporsi lignin yang meningkat mungkin terjadi karena penurunan menurunnya proporsi hemiselulose dan selulose. Kadar lignin yang semakin tinggi baik untuk proses perlakuan panas karena lignin terdekomposisi pada suhu 280°C sampai 500°C dan dapat memberikan rendemen arang tinggi sebagai bioenergi (Darmawan, 2017).

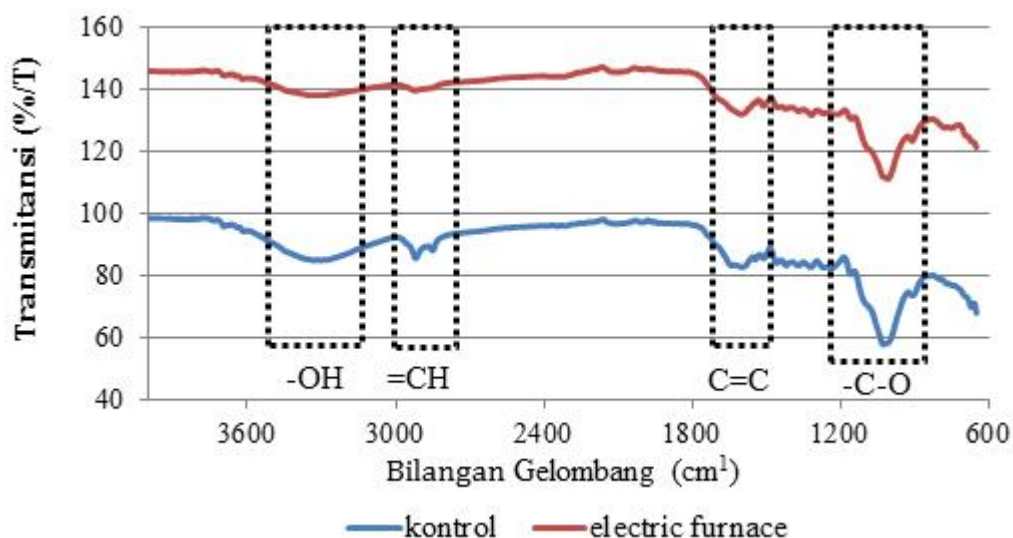
3.2. Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas suatu biomassa yang mengalami perubahan struktur karena ada perlakuan panas. Cekungan dan gelombang menunjukkan ikatan unsur pada sampel yang diuji mengalami perubahan gugus fungsi. Hasil analisis dan pengujian FTIR dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan gugus fungsi pelet TKKS di beberapa kisaran bilangan gelombang. Perubahan gugus fungsi pada pelet TKKS dapat dilihat pada Tabel 2.

Bilangan gelombang antara 2700 – 3600 cm¹ yang merupakan vibrasi gugus O-H dan C-H mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perubahan gugus fungsi dimana sebagian besar hemiselulosa dan selulosa sudah mengalami degradasi atau terdekomposisi (Lestari *et al.*, 2018). Gugus C=C merupakan struktur dari lignin yang berada pada kisaran gelombang 1500-1800 cm¹. Hal tersebut menunjukkan bahwa pelet TKKS yang telah tertorefaksi dengan menggunakan *electric furnace* memiliki gelombang yang lebih tajam dibandingkan dengan pelet TKKS kontrol (tanpa perlakuan). Hal tersebut terjadi karena semakin

Tabel 1. Komposisi Kimia Pelet TKKS Kontrol (Sebelum Torefaksi), dan Pelet TKKS Setelah Torefaksi (% d.b)

Perlakuan	Hemiselulosa	Selulosa	Lignin	Lain-Lain
Kontrol	26	35	17	22
<i>Electric furnace</i>	15	27	46	20



Gambar 1. Spektrum FTIR Pelet TKKS

Tabel 2. Perubahan Gugus Fungsi Pelet TKKS

Bilangan Gelombang (cm ¹)	Gugus Fungsi	Kontrol	Electric Furnace
900-1200	C=O	Curam	Melandai
1500-1800	C=C	Landai	Curam
2700-3000	C-H	Curam	Melandai
3300-3600	O-H	Curam	Melandai

Sumber: Lestari *et al.*, (2018), Pangau *et al.*, (2017), dan Sukarta dan Ayuni., (2016).

meningkatnya kadar lignin pada biomassa yang secara signifikan terakumulasi dari hemiselulosa dan selulosa yang terdegradasi pada proses torefaksi pada suhu 270– 300°C (Pangau *et al.*,2017).

3.3. Nilai Kalor

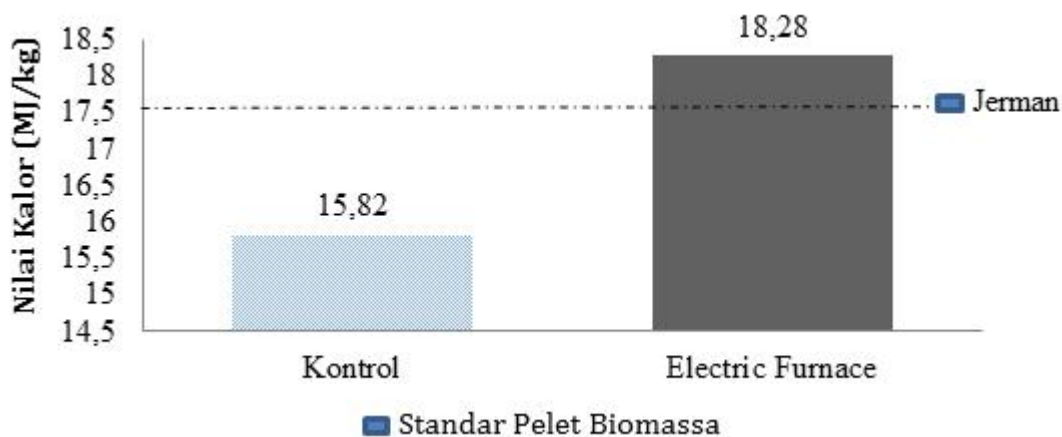
Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan nilai kalor pada sampel pelet TKKS kontrol (tanpa perlakuan) sebesar 15,82 MJ/kg. Sedangkan pada pelet TKKS yang telah ditorefaksi *electric furnace* peningkatan nilai kalor diperoleh sebesar 18,28 MJ/kg data tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Nilai kalor merupakan salah satu parameter penting dalam pemilihan bahan bakar padat seperti pelet biomassa, Nilai kalor yang semakin tinggi menunjukkan kualitas bahan bakar yang semakin baik (Adrian *et al.*, 2015). Keberadaan nilai kalor yang tinggi sangat menguntungkan pada penggunaan bahan bakar. Nilai kalor pelet TKKS mengalami peningkatan 13,0% setelah torefaksi dengan *electric furnace* pada suhu

280°C. Torefaksi biomassa dapat meningkatkan nilai kalor berdasarkan kenaikan suhu dan waktu torefaksi (Sulistio *et al.*, 2020). Torefaksi pada tandan kosong sawit pada rentang suhu 200-300°C mendapatkan kenaikan nilai kalor terhadap peningkatan suhu torefaksi yang digunakan (Fernando dan Helwani, 2016). Nilai kalor pelet bahan bakar berbanding terbalik dengan nilai kadar air, semakin tinggi kandungan kadar air suatu pelet maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini dipertegas dengan pernyataan Mahdie *et al.*(2016) dimana nilai kalor erat kaitannya dengan kadar air dan kerapatan dari pelet yang dihasilkan.

3.4. Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui efisiensi pembakaran suatu biomassa (pelet bahan bakar). Biomassa terdiri dari beberapa komponen seperti kadar air (*moisture content*) zat mudah menguap (*volatile matter*), karbon terikat (*fixed carbon*), dan abu (*ash*). Hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Nilai Kalor Pelet TKKS dan Perbandingannya dengan Standar Pelet

Tabel 3. Hasil Analisis Proksimat Pelet TKKS (% db)

Perlakuan	Kadar Air	Kadar Abu	Kadar Zat Terbang	Fixed Carbon
Kontrol	5,47	14,95	69,55	10,03
Electric furnace	1,87	22,70	61,21	14,23

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai kadar air pelet TKKS kontrol sebesar 5,47% menurun seiring dengan peningkatan suhu torefaksi. Nilai kadar abu pada pelet TKKS kontrol sebesar 14,95% dan mengalami peningkatan pada pelet TKKS yang telah tertorefaksi *electric furnace* menjadi 22,70%. Menurut Erni *et al.* (2018) peningkatan kadar abu terjadi karena semakin lama pemanasan yang dilakukan terhadap biomassa dimana jumlah air yang teruapkan dalam biomassa semakin besar. Kadar zat terbang (*volatile metter*) dimana nilai pelet TKKS kontrol sebesar 69,55% dan setelah tertorefaksi menggunakan *electric furnace* nilai kadar zat terbang meningkat menjadi 61,21%. Kadar zat terbang yang dihasilkan semakin besar disebabkan sebagian serbuk kayu dan biomassa tidak mengalami proses karbonisasi sehingga zat terbang yang dihasilkan relatif lebih tinggi dan menghasilkan asap yang cukup banyak (Wibowo *et al.*, 2016), namun hasil penelitian ini menunjukkan semua perlakuan memenuhi SNI dimana maksimal kadar *volatil* SNI 8675 : 2018 sebesar 80%.

Kadar karbon terikat pada pelet TKKS kontrol sebesar 10,03% dan semakin meningkat setelah pelet TKKS melalui proses torefaksi menggunakan *electric furnace* sebesar 14,23%. Karbon terikat merupakan salah satu indikator

untuk mengetahui jumlah material padat yang dapat terbakar setelah komponen zat terbang dihilangkan. Kadar karbon terikat sangat berperan untuk mengetahui besar kecilnya nilai kalor. Semakin tinggi kadar karbon terikat, maka nilai kalor akan semakin tinggi (Wibowo *et al.*, 2017). Hasil analisis kadar karbon terikat dimana pelet TKKS kontrol belum memenuhi syarat SNI sebagai pelet biomassa dan setelah melalui proses torefaksi menggunakan *electric furnace*, pelet TKKS dapat memenuhi syarat standar SNI sebagai pelet biomassa. Kadar karbon terikat yang meminimalkan standar SNI 8675:2018 sebesar minimal 14%.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kadar hemiselulosa dan selulosa pelet TKKS terdegradasi seiring dengan penambahan suhu dan waktu torefaksi. Hal ini sejalan dengan analisis FT-IR dimana gugus C-O, C=C, C-H, dan O-H mengalami perubahan spektrum garis yang menandakan adanya perubahan komposisi kimia yang terdegradasi melalui torefaksi. Kadar lignin pelet TKKS meningkat sebesar 2,70%, hal tersebut terjadi karena degradasi hemiselulosa dan selulosa mengikat pada lignin dalam biomassa. Kadar abu meningkat menjadi 14,62% setelah torefaksi. Sedangkan kadar zat terbang meningkat menjadi 79,32% dan kadar karbon

terikat meningkat menjadi 65,70% sehingga karbon terikat memenuhi standar SNI 8675 : 2018. Nilai kalor pelet TKKS sebelum torefaksi sebesar 15,82 MJ/kg, setelah torefaksi menggunakan *electric furnace* meningkat menjadi 18,28 MJ/kg sehingga memenuhi standar biopelet di negara Jerman. Penelitian lebih lanjut terkait proses torefaksi dengan penggunaan bahan baku (biomassa) yang berbeda sehingga memperbaiki kondisi lingkungan dengan pemanfaatan yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, A., Sulaeman, R., dan Oktorini, Y. 2015. Karakteristik pelet kayu dari limbah kayu karet (*Hevea brazilliensis* Muell. Arg) sebagai alternatif sumber energi terbarukan. *Jurnal Fakultas Pertanian*. 2(2): 43-52.
- ASTM D 2015-00. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi BPPT, Jakarta.
- Darmawan, D. 2017. Karakteristik Bambu sebagai Bahan Energi Biomassa. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Lampung. 8-9.
- Dewanti, D.P. 2018. Potensi selulosa dari limbah tandan kosong kelapa sawit untuk bahan baku bioplastik ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1): 81-88.
- Erni, N., Kadirman, dan Fadilah, R. 2018. Pengaruh suhu dan lama pengeringan terhadap sifat kimia dan organik tepung umbi talas (*Colocasia esculenta*). *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*. 2(4): 95-105.
- Fernando, A.Q., dan Helwani, Z. 2016. Torefaksi tandan kosong kelapa sawit pengaruh kondisi proses terhadap nilai kalor produk torefaksi. *Jurnal Fakultas Teknik*. 3(2): 1-4.
- Irawan, A., Riadz, T. dan Nurmalisa. 2015. Proses torefaksi tandan kosong kelapa sawit untuk kandungan hemiselulosa dan uji kemampuan penyerapan air. *Jurnal Reaktor*. 15(3): 190-195.
- Lestari, M.D., Sudarmin., dan Harjono. 2018. Ekstraksi selulosa dari limbah pengolahan agar menggunakan larutan naoh sebagai prekursor bioetanol. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 7(3): 236-242.
- Mahdie, M.F., Subari, D., Sunardi., dan Ulfah. 2016. Pengaruh campuran limbah kayu rambai dan api-api terhadap kualitas biopelet sebagai energi alternatif dari lahan basah. *Jurnal Hutan Tropis*. 4(3): 246-253.
- Maryenti, R., Komalasari, dan Helwani, Z. 2017. Pembuatan bahan bakar padat dari pelepah sawit menggunakan proses torefaksi pada variasi suhu dan waktu. *Jurnal Fakultas Teknik*. 4(1): 1-4.
- Pangau, J.R., Sangian, H.F., dan Lumi, B.M. 2017. Karakterisasi bahan selulosa dengan iradiasi *pretreatment* gelombang mikro terhadap serbuk kayu cempaka wasian (*Elmerillia ovalis*) di Sulawesi Utara. *Jurnal Mipa Unsrat Online*. 6(1): 53-58.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I.G., dan Bakri, S. 2019. Karakteristik pelet kayu karet (*Havea brasiliensis*) hasil torefaksi dengan reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB). *Jurnal Sylva Lestari*. ISSN: 2549-5747
- Setiawan, A., Andrio, O. Dan Coniwanti, P. 2012. Pengaruh komposisi pembuatan biobriket dari campuran kulit kacang dan serbuk gergaji terhadap nilai pembakaran. *Jurnal Teknik Kimia*. 18(2): 9-16.
- Sidabutar, V.T.P. 2017. Kajian peningkatan potensi ekspor pelet kayu indonesia sebagai sumber energi biomassa yang terbarukan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 12 (2): 99-116.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2018. Pelet biomassa untuk energi. (SNI 8675-2018). Badan Standardisasi Nasional

- Sukarta, N., dan Ayuni., P.S. 2016. Analisis proksimat dan nilai kalor pada pelet biosolid yang dikombinasikan dengan biomassa limbah bambu. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 5(1): 728-736.
- Sulistio, Y., Febryano, I.G., Hasanudin, U., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., dan Hidayat, W. 2019. Pengaruh Torefaksi dengan Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle (COMB)* dan *Electric Furnace* terhadap Pelet Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 65-76.
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torefaksi. *Jurnal Mekanik Sistem Termal*. 1(1): 7-13.
- Wardani, A.P.K., dan Widiawati, D. 2017. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai material tekstil dengan pewarna alam untuk produk kriya. *Jurnal Tingkat Sarjana Bidang Seni Rupa dan Desain*. 1(2): 3-10.
- Wibowo, T., Setyawati, D., Nurhaida., dan Diba, F. 2016. Kualitas biopelet dari limbah batang kelapa sawit dan limbah kayu penggergajian. *Jurnal Hutan Lestari*. 4(4): 409-417.